

УДК 621.56/.59

**В.Е. Козут, В.В. Миненков, М.Г. Хмельнюк**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65026

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА-ЭЖЕКТОРА В ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОДУКТОВ

*В данной работе рассматривается применение устройства теплообменник-эжектор для увлажнения воздуха в камере холодильной обработки мясных полуфабрикатов, а также возможность его применения для получения искусственного снега. В статье представлена система обработки мяса в две стадии с увлажнением его в изолированном отсеке посредством обработки мяса смесью охлажденного воздуха и мелкодисперсных кристаллов льда. В работе представлена схема конструкции и принцип работы теплообменника-эжектора.*

**Ключевые слова:** эжектор, кристаллический лед, усушка, снежная пушка, замораживание, увлажнение, снегование.

**В.О. Козут, В.В. Мінєнков, М.Г. Хмельнюк**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська 1/3, м. Одеса, 65082

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОБМІННИКА-ЕЖЕКТОРА У ХОЛОДИЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ПРОДУКТІВ

*У даній роботі розглядається застосування пристрою теплообмінник-ежектор для зволоження повітря в камері холодильної обробки м'ясних напівфабрикатів, а також можливість його застосування для одержання штучного снігу. У статті представлена система обробки м'яса в дві стадії із зволоженням його в ізолюваному відсіку за допомогою обробки м'яса сумішшю охолодженого повітря і дрібнодисперсних кристалів льоду. У роботі представлена схема конструкції і принцип роботи теплообмінника-ежектора.*

**Ключові слова:** ежектор, кристалічний лід, усушка, сніжна гармата, заморожування, зволоження, снігування.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Для сохранения мяса и мясных продуктов широко применяется холодильная обработка, которая является в настоящее время одним из наиболее эффективных и распространенных способов консервирования. Холодильная обработка имеет ряд существенных преимуществ перед другими способами консервирования, обусловленных тем, что в процессе длительного холодильного хранения мяса и мясные продукты сохраняют без изменения свои натуральные (первоначальные) свойства при более низких, по сравнению с тепловой стерилизацией, энергетических затратах. Хранение при низких температурах обеспечивает минимальные изменения пищевой ценности и вкуса мяса и мясных продуктов.

Замораживание – это понижение температуры в толще мяса до температуры минус 8°C и ниже. Оно является одним из наиболее совершенных методов консервирования, обеспечивающим длительное низкотемпературное хранение мяса благодаря предотвращению развития микробиологических процессов и резкого замедления скорости ферментативных и физико-химических изменений.

При замораживании мяса в нем образуются кристаллы льда. Влияние замораживания на качество мяса обусловлено характером процесса кристаллизации. Процесс замораживания тканей мяса можно рассматривать как процесс замерзания тканевой жидкости, т.е. раствора сравнительно небольшой молекулярной концентрации. В тканях сначала наступает небольшое переохлаждение (для мышечной ткани до минус 4°C), после чего возникают зародыши кристаллов, и выделяется скрытая теплота кристаллизации. Температура повышается до криоскопической, при которой невозможно образование новых центров кристаллизации. Начинается вторая фаза кристаллообразования – рост выделившихся кристаллов.

Медленное замораживание сопровождается образованием в мышечной ткани небольшого количества центров кристаллизации, и зарождаются они в первую очередь в межклеточном пространстве, т.е. между волокнами, что сопровождается большими потерями мясного сока при размораживании.

При быстром замораживании в тканях возникает большое количество центров кристаллизации, причем они возникают и в межклеточном

© В.Е. Козут, В.В. Миненков, М.Г. Хмельнюк, 2014

пространстве, а также внутри волокон. Образование большого количества центров кристаллизации обуславливает небольшое увеличение размеров кристаллов и отсутствие разрушения оболочек волокон. Это обеспечивает лучшее восстановление первоначальных свойств, чем при медленном замораживании. При быстром замораживании скорость образования кристаллов выше скорости перемещения влаги, поэтому значительная часть жидкости замораживается там, где она находилась до замораживания. Гистологические изменения при замораживании мяса связаны с нарушением межволоконной структуры и мышечных волокон в связи с образованием кристаллов льда. Чем больше скорость замораживания, тем мельче кристаллы и менее заметны разрушения естественной структуры тканей.

Глубина изменений качества мяса после замораживания и последующего хранения в замороженном состоянии зависит главным образом от скорости замораживания, условий и длительности хранения мяса в замороженном виде, степени биохимических изменений в мясе до начала замораживания. В замороженном мясе при достаточно низких температурах вследствие продолжающихся физических, химических, биохимических и микробиологических процессов происходит изменение цвета, массы, структуры мяса, изменение состояния белков и липидной фракции, витаминов, микроорганизмов.

Испарение влаги из замороженного мяса при хранении вызывает не только потемнение мяса, но и уменьшение его массы. В поверхностном слое мяса происходит сублимационное испарение, в результате чего на поверхности туш образуется множество пор, заполненных воздухом. В этом слое протекают окислительные, необратимые процессы, а также адсорбируются посторонние запахи. Содержание влаги в этом слое значительно

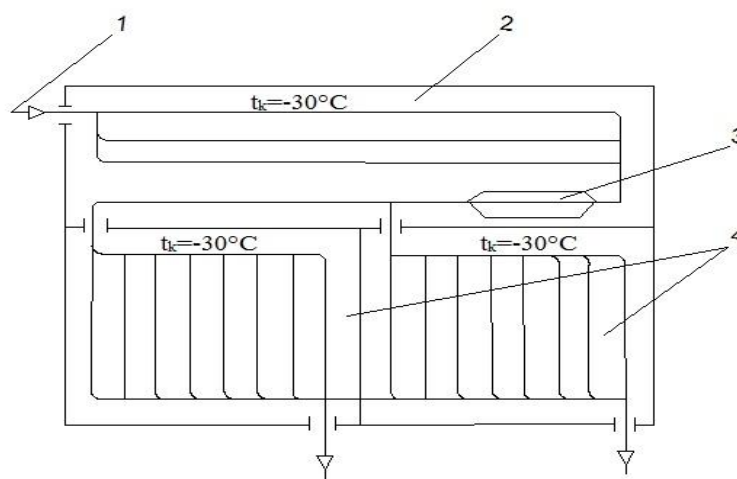
ниже, и после варки он остается суховатым, жестким, вкус и аромат его ухудшаются.

Потери массы мороженого мяса зависят от ряда факторов. Они уменьшаются при увеличении степени загрузки камер, плотности укладки мяса и размеров штабелей, при улучшении теплоизоляции камер. Для снижения усушки применяют экранирование пристенных батарей ледяной стенкой, засыпание снега на поверхность штабеля, глазирование поверхности туш, упаковку мяса в картонную тару или паронепроницаемые пленочные материалы [1]. Также для хранения мяса распространенным является использование вакуумной упаковки, а обработка мяса в полутушах позволяет увеличить длительность его хранения, по сравнению с разделанным мясом.

Наиболее распространено замораживание мясных блоков между металлическими пластинами. Сформированные блоки направляют в плиточный морозильный аппарат [2]. Продолжительность замораживания блока бескостного мяса массой 25 кг при  $-35^{\circ}\text{C}$  до температуры в толще  $-8^{\circ}\text{C}$  составляет 4-5 ч. Такой способ обладает рядом преимуществ, но ограничен геометрией замораживаемого продукта, что вносит дополнительный дискомфорт в процессе обработки мяса. Способ двухступенчатой заморозки мясного продукта с увлажнением мяса в изолированном отсеке остается актуальным и по сей день для обработки мяса в полутушах.

## II. СПОСОБ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОЛУТУШ

Использование предлагаемого способа позволяет уменьшить усушку продукта, при незначительном количестве влаги, которое оседает на приборах охлаждения.



**Рисунок 1** – Схема замораживания мясных полутуш.

1 - конвейер для перемещения мясных полутуш; 2 - туннель предварительного замораживания полутуш на первой стадии; 3 - изолированный отсек увлажнения; 4 - камеры замораживания продукта на второй стадии.

Замораживание мясных полутуш осуществляется в потоке холодного воздуха на конвейере,

что позволяет совместить транспортировку мясных полутуш и их холодильную обработку. Холо-

дильная обработка, а именно замораживание, проходит в две стадии. После первой стадии замораживания происходит увлажнение полутуши. Этот процесс достигается путем помещения полутуши в изолированный отсек, в котором продукт обрабатывается водяным охлажденным паром, переносимым сжатым воздухом [3]. Количество влажного пара соответствует потере влаги при последующем замораживании продукта в камерах. В результате такой обработки усушка продукта и оседание влаги на приборах охлаждения снижается.

Принцип действия работы рассматриваемой схемы замораживания мясных полутуш следующий. По непрерывно работающему конвейеру поток мясных полутуш из цеха первичной переработки скота подается в туннель предварительного замораживания с температурой воздуха  $t_k = -30^\circ\text{C}$  и снижающейся скоростью его движения с 7 до 2,5 м/с. В туннеле полутуши промораживаются на глубину 10-15 мм, при этом на поверхности мяса устанавливается отрицательная температура, которая ниже криоскопической. После туннеля полутуши поступают в отсек увлажнения. Отсек увлажнения, находящийся в туннеле предварительного замораживания экранируется, например, с помощью брезента. После отсека увлажнения, обрабатываемый продукт поступает в камеры для последующего замораживания.

В отсеке увлажнения мясо обрабатывается следующим путем. С помощью устройства теплообменника-эжектора, в котором вода через форсунку распыляется в камеру смешения эжектирующего устройства. Там она смешивается с поступающим холодным сжатым воздухом и подается в отсек увлажнения в виде смеси воздуха с мелкодисперсными каплями воды. В ограниченном объеме отсека создаются условия увлажнения, при которых достигается 100% влажность воздуха, происходит формирование среды, которая не со-

общается с воздухом, циркулирующим через воздухоохладители туннеля предварительного замораживания. Вместимость отсека по массе мяса связана с режимом работы конвейера, цеха первичной переработки скота и временем проведения процесса увлажнения.

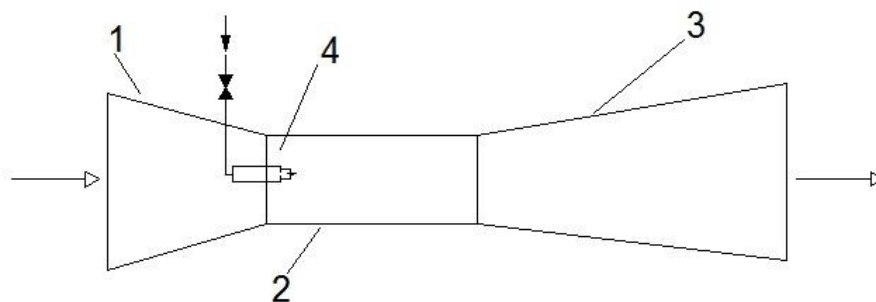
Поверхность полутуши увлажняется за счет контакта с подаваемым увлажненным воздухом. Полутуша воспринимает по массе то количество влаги, которое вносится в объем отсека, что достигается благодаря образующейся водяной пленке, которая закрывает поры и неровности в мясе.

Увлажненные в отсеке мясные полутуши далее перемещаются на замораживание в камеры с температурой воздуха  $t_k = -30^\circ\text{C}$  и снижающейся скоростью его движения с 2 до 0,8 м/с.

### III. УСТРОЙСТВО ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В КАМЕРЕ ПРИ ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ.

Для уменьшения потерь от усушки, в предлагаемой схеме, полутуши на одной из стадий своей обработки попадают в изолированный отсек и увлажняются сжатым охлажденным воздухом с мелкодисперсными каплями воды. В качестве устройства, обеспечивающего получение такой смеси, используется теплообменник эжектор.

Эжекторы в качестве струйных аппаратов нашли широкое применение в различных отраслях - химической, экологической, а также в холодильной отрасли [4]. Струйные эжекторы обладают простой конструкцией и высокой надежностью. Эжекторы работают без утечек, помех, не нуждаются в техосмотре и обладают в связи с этим высокой производственной безопасностью. На рисунке 2 приведен теплообменник эжектор, принцип действия которого следующий.



**Рисунок 2** – Теплообменник-эжектор.

1 – конфузор; 2 – камера смешения (интенсивного теплообмена);  
3 – диффузор; 4 – форсунка мелкодисперсного распыления.

Охлажденный воздух из основной камеры замораживания уносится при помощи вентилятора и направляется в теплообменник-эжектор. Отса-

сываемый поток охлажденного воздуха ускоряется в конфузоре теплообменника-эжектора до скорости  $M = 0.3$  (число Маха Маевского). Далее в каме-

ру смешения через форсунку мелкодисперсного распыления впрыскивается поток воды с меньшей скоростью. В ней происходит мгновенный теплообмен между средами

Форсунку следует устанавливать вдоль продольной оси теплообменника-эжектора так, чтобы её срез был в начале камеры смешения. Форсунка может быть любой конструкции, главная её задача – получение минимально возможного диаметра капель впрыскиваемого хладагента – до 0,5 мм [5]. Отвод тепла осуществляется путем контактного теплообмена и испарительного охлаждения за счет впрыскиваемой в поток воздуха мелкодисперсных капель воды.

Наиболее важные явления процесса, протекающего в камере смешения теплообменника-эжектора – это моментальное столкновение капель воды с подаваемым охлажденным воздухом, что ведет к переохлаждению поступающих через форсунку мелкодисперсных капель воды.

После прохождения теплообменника-эжектора смесь воздуха и воды попадает в среду воздуха низкой температуры камеры, где в полете происходит частичное образование кристаллического льда из капель воды.

#### IV. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА-ЭЖЕКТОРА ПРИ СНЕГОВАНИИ МЯСНЫХ ШТАБЕЛЕЙ

Существуют различные методы предварительного охлаждения мяса: в потоке воздуха; снегование; вакуумное охлаждение с применением специализированных вакуумных охладителей; жидкостное охлаждение или гидроохлаждение, с помощью орошения или погружения в ледяную воду.

Самыми эффективными по скорости охлаждения считаются: вакуумный метод, гидроохлаждение, воздушное охлаждение и снегование.

Снегование является одной из мер по борьбе с усушкой замороженного мяса при хранении. Обычно для снегования мясных штабелей используют снегогенераторы с внешним смешиванием. Наряду с такими генераторами для обеспечения выполнения требуемых задач возможно использование теплообменника-эжектора. Оснащение камер обработки мяса теплообменником-эжектором, позволяющим получить снежную массу, позволит увеличить скорость получения снега, в силу интенсификации теплообмена в устройстве снежной машины по сравнению с простым снежным генератором. Использование теплообменника-эжектора в устройстве снежной машины открывает новые возможности. За счет применения эжектора и распыления воды в скоростной поток охлажденного воздуха, создаваемый эжектором, можно достигнуть получения ледяной массы, сократив при этом энергетические потери по сравнению с использованием обычных снежных генераторов.

Также кроме мясной отрасли возможно использование получаемого льда в рыбной, плодово-овощной, а также других отраслях пищевой промышленности [6].

#### V. ВЫВОДЫ

В работе приведен способ двухступенчатого замораживания полутуш с уменьшением испарения влаги с их поверхности. В процессе такого замораживания для увлажнения полутуш используется теплообменник-эжектор, который создает смесь сжатого охлажденного воздуха и мелкодисперсных кристаллов льда. Главной и отличительной особенностью способа замораживания мясных полутуш в потоке холодного воздуха в две стадии, является то, что с целью уменьшения усушки продукта, воздух в камере увлажняется смесью холодного воздуха и мелкодисперсных кристаллов льда, подаваемой теплообменником-эжектором. Относительная влажность воздуха в камере близка к 100%. Использование такого способа замораживания мясных полутуш позволяет сократить естественную убыль продукта в процессе замораживания с 1,4 до 1,2% при незначительном выпадении инея на приборы охлаждения.

Дополнительный интерес вызывает образование мелкодисперсного льда при взаимодействии смеси сжатого воздуха и капель воды при выходе из диффузора эжектора, с воздухом низкой температуры циркулирующем в холодильной камере. Получаемый мелкодисперсный кристаллический лед может найти свое применение в широком спектре задач. Теплообменник-эжектор может быть применен для снегования мясных штабелей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каухчешвили Э.И. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Э.И. Каухчешвили. М.: Агропромиздат, 1985. — 255 с.
2. International Journal of Refrigeration 33 (8) (2010), Elsevier Ltd, The UK, 212 p
3. Авторское свидетельство №1375917, кл. F 25 D 13/06, 1988. Ольшанский С.В., Чумак И.Г., Онищенко В.П., Шахневич В.И., Вязовский В.П., Когут В.Е.
4. Когут В.Е., Бутовский Е.Д., Хмельнюк М.Г. Классификация эжекторов теплообменников и их промышленное применение // Сборник научных трудов ОНАПТ
5. Когут В.Е., Бутовский Е.Д., Носенко Н.Г. Проектирование термоконденсатора эжектора // Журнал «Холодильная техника и технология» №6 (146) – Одесса, – 2013.
6. Миненков В.В., Зимин А.В., Хмельнюк М.Г. Влияние примесей на процессы получения и применения бинарного льда // Журнал «Холодильная техника и технология» №4 (144) – Одесса, – 2013.

*V. Kogut, V. Minienkov, M. Khmelniuk*

Odessa national academy of food technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082

## HEAT EXCHANGER EJECTOR APPLICATION IN PRODUCTS REFRIGERATION PROCESSING

*This paper describes the use of a heat-exchanger ejector device for air humidification in a refrigeration treatment camera of meat half-carasses, and the possibility of its application for artificial snow. The system of a two-step meat moistening in the isolated compartment by treating meat with a mixture of cooled air and the fine crystal ice particles is represented in this article. The design scheme and the principle of the heat exchanger ejector is shown. The ice crystals formed at the outlet of the diffuser of the heat exchanger-ejector from the mixture of injected water droplets through the nozzle into the incoming stream of compressed cooled air. Application of a heat exchanger-ejector allows to get 100% relative humidity in the chamber. Heat exchanger ejector can be used for meat stacks snowing.*

**Keywords:** *ejector, crystal ice, moisture evaporation, snow gun, freezing, moisture, snowing.*

### REFERENCES

1. **Kauhcheshvili E.** Physical and technical bases of refrigeration processing of food products / E. Kauhcheshvili. Moscow, 1985. — 255 p.
2. International Journal of Refrigeration 33 (8) (2010), Elsevier Ltd, The UK, 212 p
3. Copyright certificate №1375917, cl. F 25 D 13/06, 1988. **Olshanskiy S., Chumak I., Onischenko V., Shahnevich V., Viazovskiy V., Kogut V.**
4. **Kogut V., Butovskyi I., Khmelniuk M.** Heat exchanger ejectors classification and industrial application // ONAFT collection of scientific papers.
5. **Kogut V., Butovskyi I., Nosenko N.** Designing of thermo ejector condenser // «Refrigeration technic and technology journal» №6 (146) – Odessa, – 2013.
6. **Minienkov V., Zimin A., Khmelniuk M.** Influence of impurities on ice slurry producing and applying processes // «Refrigeration technic and technology journal» №4 (144) – Odessa, – 2013.

---

Отримана в редакції 01.04.2014, прийнята до друку 29.04.2014